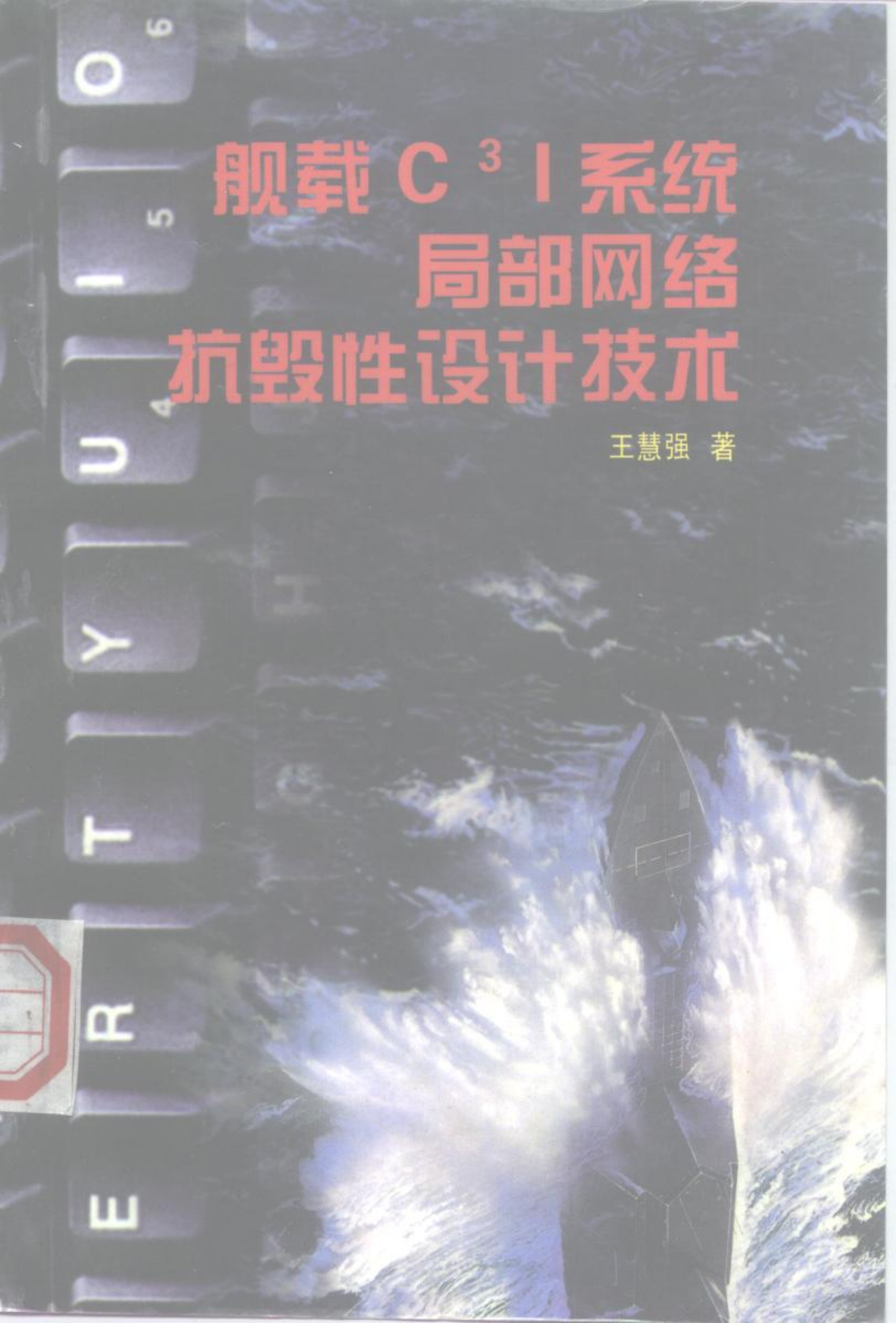
舰载C³I系统局部网络抗毁性设计技术

王慧强 著



●国防科技预研基金资助课题

舰载 C^3I 系统局部网络抗毁性设计技术

王慧强　著

哈尔滨工程大学出版社

内容简介

本书是一本关于舰载 C^3I 系统的计算机局部网络系统抗毁性设计的专著，共分七章。具体内容包括：舰载 C^3I 系统 LAN 的多方式分层次抗毁体系结构的确立，并行容错、抗毁 LAN 技术，抗毁 LAN 的互联与管理技术，分布式冗余磁盘(DRD)技术，系统功能备份，重组与恢复技术，LAN 上 CV 对抗与反对抗技术等。

本书对于每项技术基本采用了依次给出基本设计思想框架、实现实验方法和理论分析结果的写作方法。因此，它适合于从事舰载 C^3I 系统研制、开发及应用的工程技术人员以及大专院校有关专业的师生阅读。

舰载 C^3I 系统局部网络抗毁性设计技术

Jianzai C^3I Xitong Jubu Wangluo Kanghuixing Sheji Jishu

王慧强 著

责任编辑 陈晓军

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南通街145号哈工程大学11号楼

发行部电话(0451)2519328 邮编：150001

新 华 书 店 经 销

哈尔滨市书刊印刷厂印刷

*

开本 850 mm×1 168 mm 1/32 印张 5.0625 字数 130 千字

1998 年 3 月第 1 版 1998 年 3 月第 1 次印刷

印数：1～500 册

ISBN 7-81007-852-6

U・55 定价：9.60 元

前　言

1994 年 8 月，国防科工委下达了题为“用于大型水面舰艇 C^3I 系统的计算机局部网络系统抗毁性研究”的国防科技预研基金项目（项目编号为 94J6A. 10. 2. CB0108）。经过任务组全体人员近三年的共同努力，完成了预期任务。又因该课题的研究结合了我们所承担的船舶行业“八五”国防预研项目，及其它有关项目，大大丰富了有关的研究工作内容，并使之有了具体的实验和应用背景，因而取得了一批具有理论和实践意义的研究成果。这些成果不但可直接为单舰 C^3I 系统的抗毁性设计提供技术参考，而且对国民经济重要部门的信息网络的设计具有借鉴价值。为了使这些成果尽快推广应用，也为了使有关的研究工作向更深层次推进，在国防科工委有关部门的鼓励下，我们对所做的工作进行了较系统的总结、整理，从而形成了这部专著。

提高舰载 C^3I 系统的抗毁性，即增强 C^3I 系统的生存能力，是一个涉及范围十分广泛的课题，包括防核、防化、防生物、防轰炸、防电磁泄漏、抗电磁干扰、反窃听、反计算机病毒及在系统部分受损情况下保持正常运行的持续工作能力等。而抗毁性本身也包括两方面含义，即防毁性和残存性。这就使得提高舰载 C^3I 系统抗毁性的途径和方法也是多种多样的，诸如采用全分布式体系结构、加强电子战分系统的设计、各种防护分系统的设计以及采用加固技术、冗余技术和系统备份与重组技术等。本书主要阐述舰载 C^3I 系统局部网络的抗毁性设计技术，而且重点放在通过采用分布式和冗余等计算机软、硬件技术来提高系统的残存性，即系统在部分受损时仍能持续工作的能力。同时，考虑到计算机病毒（CV）可以成

为破坏 C^3I 系统的一种新的有力武器已被国内外有识之士所共识，本书还涉及了舰用 LAN 上 CV 对抗与反对抗措施。

本书是集体智慧的结晶，许多同志对本书的写作和实验工作做出了贡献。全书由王慧强主笔完成，先后参加相关研究工作的同志有：付旋、陈军、丛静、刘成则和杜蓉等。值得特别感谢的是我的同事，哈尔滨工程大学计算机与信息科学系的杨永田教授，不但自始至终参与了有关研究的技术路线的制定，而且还参与了本书的策划，并最终审校了全书。

最后，衷心地希望本书能够对于舰载 C^3I 系统及其它军用和民用 C^3I 系统的抗毁性设计和研究具有参考作用。由于作者的水平有限，错误在所难免，不当之处，敬请读者指正。

作者

1998 年 3 月于哈尔滨

目　录

1 绪　论 …… 1
1.1 舰载 C^3I 系统的抗毁性 …… 1
1.1.1 舰载 C^3I 系统的含义和作用 …… 1
1.1.2 研究舰载 C^3I 系统抗毁性的重要性 …… 1
1.1.3 对舰载 C^3I 系统抗毁能力的要求 …… 2
1.2 提高舰载 C^3I 系统抗毁性的途径 …… 3
1.2.1 改进 C^3I 系统的体系结构，提高它的抗毁性 …… 3
1.2.2 加强电子战分系统的建设 …… 4
1.2.3 加强通信分系统的建设 …… 6
1.2.4 重视电磁兼容设计和对 Tempest 技术的研究 …… 9
1.2.5 加强系统防核、防生化武器的能力 …… 9
1.2.6 其它的分系统采用抗毁性设计 …… 10
1.2.7 加固指挥舱 …… 10
1.3 舰载 C^3I 系统 LAN 的抗毁性 …… 11
1.3.1 分布 …… 12
1.3.2 加固 …… 13
1.3.3 冗余 …… 13
1.3.4 反病毒 …… 13
1.3.5 抗干扰 …… 13
2 舰载 C^3I 系统 LAN 抗毁体系的确立 …… 14
2.1 概　述 …… 14

2.2 通信子网 I 级——通信介质和部件冗余…… 15
2.3 通信子网 II 级(网络互联级)——LAN 间冗余 … 16
2.4 数据级——数据冗余…… 18
2.5 网络站点级——系统功能备份…… 19
2.6 应用级——CV 对抗与反对抗 …… 21
3 通信子网 I 级:并行容错、抗毁 LAN 技术 …… 22
3.1 概 述…… 22
3.2 基本思想及实现结构…… 23
3.2.1 功能模式 …… 23
3.2.2 技术特性 …… 24
3.2.3 体系结构 …… 25
3.2.4 协议实现考虑 …… 26
3.3 关键实现技术…… 28
3.3.1 失效检测 …… 28
3.3.2 切换处理 …… 29
3.3.3 失效恢复 …… 30
3.3.4 并行机制 …… 31
3.4 逻辑地址…… 34
3.4.1 什么是逻辑地址 …… 34
3.4.2 逻辑地址的管理 …… 35
3.4.3 全分布式逻辑地址管理系统的实现 …… 37
3.5 可靠性与性能分析…… 42
3.5.1 P—FTLAN 可靠性分析…… 42
3.5.2 并行通信的网络总体性能的分析 …… 43
3.5.3 并行通信对单机通信速度提高的分析 … 44
3.6 小 结…… 45
4 通信子网 II 级(网络互联级):抗毁 LAN 的互联与管理技术 …… 46

4.1 概　　述 …… 46
4.2 单舰 C^3I 系统 LAN 抗毁互联结构 …… 49
4.2.1 单舰 C^3I 系统的互联结构 …… 49
4.2.2 单舰 C^3I 系统 LAN 互联实现考虑 …… 50
4.2.3 网络互联设备的选择 …… 52
4.3 单舰上 LAN 系统的互联实现 …… 53
4.3.1 单舰 LAN 系统的互联设计方案 …… 53
4.3.2 组网硬件配置 …… 55
4.3.3 用户层协议机制 …… 56
4.3.4 单舰上 LAN 互联系统的信息交互与资源共享 …… 60
4.4 单舰上 LAN 互联系统的网络管理 …… 64
4.4.1 网络管理概述 …… 64
4.4.2 单舰上网络管理的内容及实现 …… 65
4.4.3 单舰上的故障管理 …… 67
4.5 舰载 C^3I 系统中的其它组网方式 …… 72
4.5.1 无线网络的组网方式 …… 72
4.5.2 指挥舰上的 LAN 系统互联 …… 74
4.6 单舰上 LAN 互联系统的性能分析 …… 77
4.6.1 不可维修故障分析 …… 77
4.6.2 可维修故障分析 …… 78
4.7 小　　结 …… 83
5 数据级:分布式冗余磁盘(DRD)技术 …… 84
5.1 概　　述 …… 84
5.2 基本思想及概念结构 …… 85
5.2.1 RAID 技术综述 …… 85
5.2.2 DRD 的基本思想 …… 87
5.2.3 DRD 系统的概念结构 …… 88

5.3 实现结构…… 89
5.3.1 面向工作站的访问组织 …… 90
5.3.2 面向服务器的访问组织 …… 91
5.3.3 全分布式访问组织 …… 91
5.4 关键技术分析…… 92
5.4.1 关键实现技术 …… 92
5.4.2 改进途径 …… 94
5.5 FDRD:一个全分布式DRD样机系统…… 95
5.5.1 实现层次 …… 95
5.5.2 技术特性 …… 96
5.5.3 计算模型 …… 96
5.5.4 系统设计 …… 98
5.5.5 数据分配策略和冗余机制 …… 98
5.5.6 数据块大小的选取…… 101
5.5.7 NetBIOS通信协议的选择 …… 101
5.6 DRD系统可靠性分析…… 102
5.6.1 系统有效度…… 102
5.6.2 误码率…… 103
5.7 小 结 …… 104
6 **站点级:系统功能备份、重组和恢复技术**…… 105
6.1 概 述 …… 105
6.2 一个舰载分布式火控模拟系统的
功能与组成的例子 …… 105
6.2.1 系统的功能…… 106
6.2.2 系统的组成…… 106
6.3 系统功能备份、重组和恢复的设计与实现…… 108
6.3.1 设计要求…… 108
6.3.2 备份策略…… 109

6.3.3 检测机制…… 110
6.3.4 分级实现…… 111
6.4 小 结 …… 113
7 应用级:CV 对抗与反对抗措施技术 …… 114
7.1 概 述 …… 114
7.2 计算机病毒概述 …… 115
7.2.1 概念和特征…… 115
7.2.2 研究现状…… 116
7.3 计算机病毒数学基础 …… 118
7.3.1 计算机病毒的非形式描述…… 118
7.3.2 计算机病毒的判定性问题…… 119
7.3.3 计算机病毒可计算性问题…… 120
7.3.4 计算机病毒的数学模型…… 122
7.4 关于计算机病毒战 …… 123
7.4.1 研究方向…… 123
7.4.2 特点…… 124
7.4.3 可行性…… 125
7.4.4 发展趋势…… 126
7.5 网络环境下病毒传播机理研究 …… 127
7.5.1 网络环境构成…… 127
7.5.2 计算机病毒的传染方式和传播途径…… 128
7.5.3 Novell—DOS 网络环境下的
网络病毒传播实验…… 129
7.6 网络病毒的防治 …… 132
7.6.1 计算机网络的安全性…… 132
7.6.2 网络病毒的预防…… 134
7.6.3 病毒检测手段…… 136
7.6.4 病毒检测新技术…… 137

7.6.5 病毒清除技术…… 138
7.7 一个网络病毒防治的理论构想 …… 138
7.7.1 主机的病毒防治…… 138
7.7.2 网络通信的病毒防治…… 140
7.8 小 结 …… 143
参考文献 …… 145

1 绪　论

1.1 舰载 C^3I 系统的抗毁性

1.1.1 舰载 C^3I 系统的含义和作用

C^3I(Command Control Communication and Intelligence)是集指挥、控制、通信、情报为一体的一种综合系统。舰载 C^3I 系统是舰艇上整个军事系统的中枢神经系统。只有把指挥、控制、通信与情报融为一体,形成电子化军事系统,才能使各种武器联成一体发挥最大效用。C^3I 系统由人、设备和信息系统组成,用于协助作战计划的制订,以及辅助对舰艇实行指挥与控制。C^3I 系统能增强舰艇的威慑力,向各级指挥军官提供准确、实时而可靠的信息,对各种数据进行处理、显示和评估,并使各级指挥官能够将各种命令和决策下达给舰艇上的各个部门和武器系统。而且还能采取各种措施,不使敌人有隙可乘,得以破坏 C^3I 系统,并自如地使用自己的兵力武器。因此,C^3I 的任务范围还应包括具有高功能的电子战系统和 C^3I 对抗系统。

1.1.2 研究舰载 C^3I 系统抗毁性的重要性

一个舰载 C^3I 系统是整个舰艇上军事系统的中枢神经。它在海战中直接决定了战争的胜负,关系到能否消灭敌方,关系到本舰的生死存亡。海湾战争以及此前的以色列与叙利亚的贝卡谷地战争,都说明了 C^3I 系统是脆弱的,是可以被破坏的。所以研究 C^3I

系统的可靠性、生存能力、抗毁性是十分重要的。

C^3I 系统是交战双方最首要摧毁和干扰的目标。因此，提高 C^3I 系统的抗毁能力至关重要。“擒贼先擒王”，如果破坏掉敌方的 C^3I 系统，那么也就使敌方变成“瞎子”、“聋子”、“哑巴”，使敌方的武器变成废铜烂铁，起到事半功倍的作用。在海湾战争中，美国在空袭前突施强大的电子干扰，使伊拉克军队的指挥、控制、通信等系统陷于瘫痪，难以组织抵抗，而多国部队的损失却很小。

这里所提出的抗毁性应包括两方面的含义：

(1)防毁性　在敌方对 C^3I 进行破坏之前采取的一些保护措施，采用某些技术来预防敌方的打击、毁坏和干扰，使系统免受破坏或使系统受破坏程度减到最小，从而提高系统的抗毁性和生命力。

(2)残存性　系统在受到一定程度的破坏后，仍能保持正常的持续工作能力，部分受损后不影响整个 C^3I 系统的运行。

1.1.3　对舰载 C^3I 系统抗毁能力的要求

提高舰载 C^3I 系统的抗毁性亦即增强 C^3I 系统的生存能力是一个涉及范围十分广泛的课题。它包括防核、防化、防生物、防轰炸、防电磁泄漏、抗电磁干扰、反窃听、反计算机病毒及在系统部分受损情况下保持正常运行的持续工作能力等。

舰载 C^3I 系统可以通过抗毁措施提高它的生存能力，但是对 C^3I 系统抗毁能力的要求要有一个限度，并以一定条件为前提。因此我们在实际运用中应权衡利弊，最好采取折衷方案。

1.2 提高舰载 C^3I 系统抗毁性的途径

1.2.1 改进 C^3I 系统的体系结构，提高它的抗毁性

早期的集中式、联邦式和局部分布式体系结构均有致命的弱点，抗毁能力弱，不适应未来的海上战争。因此，在这里我们提出全分布式概念：(1)系统不具有致命的环节；(2)C^3I 系统要尽量采用易于重建的分布式结构，不仅在空间、控制和功能上满足分布性，而且也要满足软件和数据分布性。提高 C^3I 系统的抗毁能力和持续工作能力意味着系统结构趋于更简单、更分散。在分布式结构中，各子系统之间可进行并行处理及根据系统的运行状况灵活地配置、增减和切换，从而增强了系统的重构能力和任务的动态再分配能力。采用这种结构，即使某个子系统损坏或不能正常工作时，作为整个 C^3I 系统仍可继续工作，使 C^3I 系统的抗毁性显著提高。

简而言之，所谓全分布式舰载 C^3I 系统是指由计算机局部网或分布式计算机系统所支持的作战系统。它能实现系统资源、功能、控制在地理上的分布。

全分布式体系结构的主要特点如下：

(1)普遍采用高性能微处理机、附加阵列机。

(2)大量选用商用标准化商品和开放系统结构。

(3)采用高速、高吞吐量的光纤总线和光纤局部网络。

(4)采用多级分层结构。由于海上 C^3I 系统分层结构以及舰艇大小和使命任务的差别很大，从而使得应用于不同层次和不同类型舰艇上的 C^3I 系统的结构和规模大小不可能完全相同。在大型舰载 C^3I 系统中采用多级网络，各个子系统均组成一个局部网络或工作站群，例如防空战网络、水面战网络、反潜战网络和电子战网络等。然后，这些局部网络通过网络互联设备，如网关、网桥或路

由器等再进行局部网互联，各层次间的局部网或局部网群亦是这样，从而形成多级分层次的网络互联结构。据预测，多级分层分布式体系结构将会是未来舰载 C^3I 系统的发展方向。

(5)采用多功能控制台或工作站，使 C^3I 系统具有很强的显示处理和接口能力。

(6)广泛使用军用 ADA 标准高级语言。

(7)采用模块化、标准化进行软、硬件设计。

大型舰艇上的 C^3I 系统应由如下一些分系统构成：

(1)指挥控制分系统；

(2)通信分系统：(a)远程通信系统，(b)内部通信系统；

(3)情报分系统；

(4)电子战分系统；

(5)武器运筹控制分系统；

(6)航行保障分系统；

(7)后勤保障管理分系统。

以上各分系统以标准化模块并以相应接口，通过计算机网络互联在一起，形成一个综合的、可重构的、可裁减的 C^3I 系统。

1.2.2 加强电子战分系统的建设

一个舰载 C^3I 系统中绝大部分是电子设备，而系统的主要信息处理工作是由计算机完成的。敌我双方都可以用电磁干扰对方的 C^3I 系统：一方面是破坏对方的 C^3I 系统；另一方面也是为了保护己方的 C^3I 系统。美国从"赎罪日"战争中获得宝贵的教训，就是在现代电子战中 C^3I 系统一旦被破坏就会造成群龙无首的局面，并大大削弱战斗的有效性。

电子战的内容由电子支援措施(ESM)，电子对抗措施(ECM)，电子反对抗措施(ECCM)构成。

通过电子战分系统的建设来提高 C^3I 系统抗毁性有如下二条

途径：

(1)加强舰载 C^3I 系统的电子对抗措施

这是一种积极的抗毁方法。保护自己最好的方法就是打击敌人。电子对抗措施是依据电子支援措施所获得的资料对敌方使用的电磁波进行干扰，从而削弱或降低敌方电子装备效能，甚至给予彻底摧毁的打击。目前电子对抗措施所采用的手段有：

①电子干扰

电子干扰是利用电子干扰设备和干扰器材在敌方电子设备工作的频谱范围内施放压制性干扰或欺骗性干扰，使敌方电子设备不能正常工作，造成敌方通信中断、指挥瘫痪、雷达迷盲、武器失控等，使敌方陷入被动挨打的局面。

它包括有源干扰和无源干扰。

有源干扰是由专门无线电发射机主动发射或转发电磁能量，扰乱或欺骗敌方电子设备，使其不能正常工作，甚至无法工作或受蒙骗。无源干扰是依靠本身不产生电磁辐射的干扰器材，对敌方发出的电磁波的传播产生反射或散射来达到干扰目的。

②假目标

③诱饵

④隐身技术

隐身技术是电子战技术的又一重大突破。它着眼于削弱电、光、声可探测特征，以降低雷达等各种电、光设备对目标的发现距离，缩短其反应时间，使“千里眼”致盲，从而把干扰措施和突防手段紧密地结合起来，使反雷达伪装、反红外伪装技术跃进到新阶段。它开拓了电子战的新领域。

⑤反辐射导弹

用火力摧毁敌方的电子设备也许是电子对抗措施中最有效、最彻底的办法。目前主要用雷达导弹来对付敌方雷达。

(2)加强舰载 C^3I 系统的电子反对抗措施

这是一种消极方法。它是保障己方电子设备在敌方电子对抗和反辐射导弹攻击条件下能正常工作的各种方法和手段。

电子反侦察、反干扰和反摧毁的措施很多，归纳起来有两个方面：

①从战术角度出发，在电子设备的配置和操作使用上采取一系列组织措施。如无线电通信在规定的时间和地区内禁止发信，避免过早地暴露己方电台的位置；在雷达方面，一般都将各种不同频率的雷达交错配置，结合使用，使敌方难以对整个雷达网进行干扰；几部雷达轮流开机和关机以对付反辐导弹等。

②从技术上采取措施来提高电子反对抗的能力。其中包括电子设备和系统的结构原理，信号发送、接收和处理的方法，以及抗干扰电路等各个方面。如采用新的体制，对信号采用不同的调制技术，快速变频，天线的极化选择，通信信号的加密等等。

1.2.3 加强通信分系统的建设

C^3I 系统中最易遭到攻击的脆弱环节是通信链及其相关的重要节点，如指挥舱、控制站等。

通信分系统是 C^3I 系统的神经系统，又是 C^3I 系统的主要组成部分。没有通信，指挥员会成为“聋子”，“瞎子”。通信畅通，已经成为决定现代战争胜负的关键因素。所以，研究 C^3I 通信分系统结构的抗毁能力，保障各种环境中通信分系统的正常通信，是非常有现实意义的。

影响通信系统生存能力的主要因素有：①系统的隐蔽性，包括系统的可视性，可闻性，可探性，伪装如何，是否有假目标；②系统的机动性，包括舰载系统的架设，拆收能力；③系统的加固性，即系统对核、生物、化学武器的反应能力；④系统的可恢复性，即系统遭破坏后对网络的管理能力，包括路由自适应选择，是否有备份等等。